

[美] L.G. 列奇著
钱易 胡纪萃等译

实用废水处理系统

清华大学出版社

实用废水处理系统

美国克莱姆森大学环境系统工程教授

L. G. 列 奇 著

清华大学土木与环境工程系环境工程研究组

钱 易 胡纪萃
俞毓馨 胡琼玲 译

清华大学出版社

内 容 简 介

本书为美国克莱姆森大学列奇教授来华讲学教材，内容包括生物处理原理、活动污泥处理系统、氧化塘系统、固体去除与处理系统、固定膜系统以及土地处置法等。本书不仅在生物处理机理的叙述方面有相当深度，而且介绍了大量的实例，经济实用，易于管理和维修，是污水厂的设计和运行人员必要的参考资料。

实用废水处理系统

L. G. 列奇 著

钱 易 胡纪萃 译
俞毓馨 胡琼玲



清华大学出版社出版

北京 海淀 清华园

北京市京华印刷总厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售



开本：787×1092 1/32 印张：7¹/₁₆ 字数：177(千)

1981年9月第一版 1982年1月第一次印刷

印数 1~13,000

书号：15235·19 定价：0.90元

译 者 的 话

本书为美国克莱姆森大学 L. G. Rich 教授一九八〇年七月来华讲学所用教材，应广大听众要求，经征得 Rich 教授本人同意，我们将它译为中文，供环境保护及废水处理工程技术界同志参考。

本书前言及第三、七章由胡纪萃翻译，第一、二章由俞毓馨翻译，第四、五章由钱易翻译，第六章及附录由胡琼玲翻译。负责校阅的有朱庆爽、钱易、徐鼎文等同志。翻译过程中得到了第二机械工业部第二设计院情报室的协助，特表示感谢。

限于译者水平，书中错误在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

前 言	1
第一章 基本概念	2
1.1 污染物及其去除	2
1.2 氯消毒	13
1.3 预处理和最终处理步骤	18
第二章 微生物处理过程的原理	22
2.1 生长过程的动力学	22
2.2 微生物固体的性质	30
2.3 可处理性的研究	41
2.4 水力流动图型	49
第三章 活性污泥处理系统	54
3.1 处理过程的设计	54
3.2 设计细节	62
3.3 处理过程的控制	79
3.4 活性污泥固体的好气稳定	92
第四章 氧化塘系统	98
4.1 曝气氧化塘	98
4.2 兼性氧化塘系统	122
4.3 底泥氧化塘	133
4.4 稳定污泥的贮存塘	138
第五章 固体物质的去除及处理系统	140
5.1 沉 淀	140
5.2 厌气稳定	143

5.3 隐化池（英霍夫池）	157
5.4 化粪池	163
第六章 固定生物膜系统	165
6.1 生物滤池	165
6.2 间歇砂滤池	180
第七章 土地处置法	186
7.1 出水处置	186
7.2 污泥处置	196
附 录	202
A 符 号	202
B 米制换算系数	204
C 废水处理厂常用设计参数换算系数	210

前 言

现有的废水处理方法大多数都依仗于机械化程度高、维护管理复杂的系统。这种系统对于大、中城镇和大工业的废水处理也许是适宜的，但是，对较小的城镇、小区和小工业，机械化程度高、维护管理复杂的系统是不适宜的。这些系统的基建费用和运转费用都较高，而且要求高水平的操作技术，这就限制了它们的应用。因此，迫切地需要有一种工作可靠的易于维护的机械简单的废水处理系统。在一般场合，后者可认为是这样的系统：即运转时需要最少的电气设备和最少的机械设备，而且，除了消毒的氯以外不要投加别的化学品。

本书主要研究几种容易维护和机械设备简单的系统，且其设计是合理而实用的。该系统对于多数排放量等于或小于 $3785\text{米}^3/\text{天}$ （1百万加仑/天）废水的情况能提供可靠的处理。原稿是作者过去几年来在富有实践经验的工程师们参加的多次研究讨论会中提供的材料，现经整理扩充。本书在下列几方面有其独特之处：

- (1) 把重点放在通过设计和运转步骤控制出水的悬浮固体上。
- (2) 考虑到了革新的技术。
- (3) 用一个系统的模式来组织和探讨处理过程，书中包括许多例子，通过例子说明了设计的方法。

虽然本书是专为设计工程师编写的，但是也可供负责审定处理厂设计的管理人员以及研究生和大学生应用，从中可以找到对废水处理过程的概括说明。

L·G·Rich

第一章 基本概念

1.1 污染物及其去除

处理过的废水排放到地面水体时有关的污染物质列于表 1.1.1 中。一般水质排放标准就是对表中所列污染物质的浓度所规定的限值。例如，对于一些处理生活废水的系统，美国联邦法规规定的出水水质限值如下：

参 数	月 平 均 值	周 平 均 值
BOD ₅ ^(a) 毫克/升	30	45
TSS ^(b) 毫克/升	90	135
pH	6~9	6~9
粪便大肠杆菌(MPN 最大可能数)	200	400

其它有些标准,除了对以上所列项目提出更严的限制之外,还对 1 个或几个附加参数规定了限值。对于大多数废水,处理系统包括的处理方法所去除的污染物质不会多于表 1.1.1 所列的前面五种。许多处理系统只去除前面三种污染物。在这种情况下,去

[a] BOD₅ 为 5-day, biochemical oxygen demand 缩写字, 意为五天生化需氧量。——译注

[b] TSS 为 Total Suspended Solids 缩写字, 意为总悬浮固体量。——译注

表1.1.1.1 处理过的废水排到地面水体中的有关污染物

污 染 物 类 型	典 型 的 量 测 参 数	对 环 境 的 影 响
可生物降解有机物	(1) 5天 20°C 生化需氧量 (BOD ₅)	使水体缺氧并产生讨厌的臭味
	(2) 化学需氧量 ^(a) (COD)	
悬 浮 物	(1) 总悬浮固体量 (TSS)	引起水的混浊并造成底部沉淀
	(2) 挥发性悬浮固体量 ^(b) (VSS)	
致病的微生物	粪便大肠杆菌 (MPN)	使水体不宜饮用或用于娱乐
氨	铵-氮, NH ₄ ⁺ -N	使水体缺氧; 对水生有机物有毒, 并可能促进藻类生长
磷酸盐	正磷酸盐磷, PO ₄ ³⁻ -P	可能促进藻类生长
有毒物质	按具体有毒物质量测	危及动植物生命
无机盐类	总溶解固体 (TDS)	限制水在工业和农业上的应用
热能	温 度	减小氧在水中的饱和浓度并能加速水生生物的生长
氢离子	pH	对水生生物有潜在危险

[a] Chemical onygen demand. ——译注

[b] Volatile Suspended Solids. ——译注

除可生物降解有机物和悬浮物的处理过程，无疑是处理系统中的主要部份。

图 1.1.1 概括地画出了通常用来去除可生物降解有机物和悬浮物的方法。第一种方法——生物转化——表示于图 1.1.2。可生物降解的有机物被微生物同化，一部份转换为生物体，其余部份则用于产生能量，其中大部分能量是生物体的合成所需要的。每单位可生物降解的有机物质量所能产生的生物量主要取决于微生物究竟有无分子氧可资利用。在好气（有氧）条件下产生的生物量比在厌气（缺氧）条件下产生的多得多。当微生物不再能得到可生物降解的有机物供其生长时，就利用它们自己的生物体来得到维持生活所需的能量。这种利用将导致生物量的减少并称为内源呼吸。生物转化的最后结果，特别是在好气的环境中，是废水中悬浮物质的显著增加。

废水中有机物生物转化所形成的生物群体主要由细菌组成。由于它有独特的表面特性，悬浮在废水中的这些生物群体被称为活性污泥。活性污泥表面对在废水中悬浮固体有很高的吸附特性（活性）。因此，生物转化过程所形成的微粒以及进水中的惰性颗粒通过生物絮凝而与活性污泥絮状体结成一体。为使生物絮凝

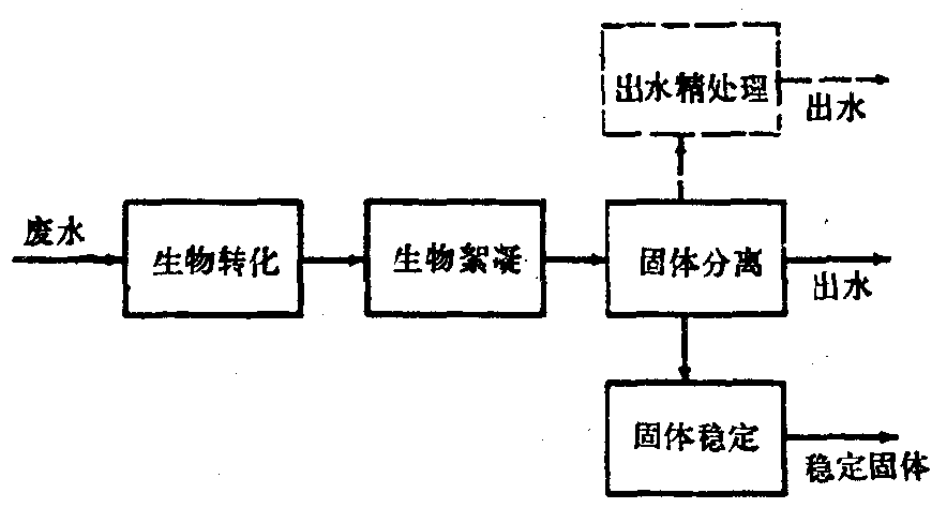


图1.1.1 去除可生物降解有机物和悬浮物质的处理流程

取得良好的效果，生物体在系统中必须达到某一最小年龄。在大多数废水处理系统中，生物转化和生物絮凝是发生在同一处理设备中的。

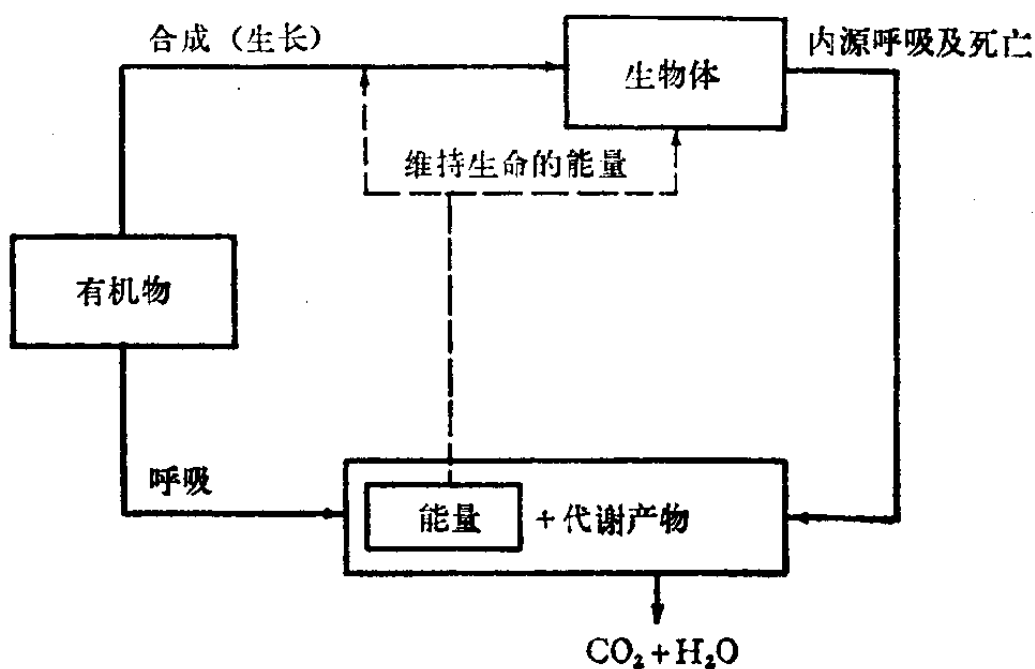


图1.1.2 有机物经微生物代谢作用的最终结果

一般，固体分离是在处理系统中影响系统出水全面水质最重要的步骤。系统的运转效能与固体分离步骤的细致管理直接有关。许多系统在生物转化和生物絮凝之前，使用固体分离步骤除去进水悬浮物的可沉部份。

从生活废水以及许多工业废水中分离出来的固体大部分是有机物。固体的有机部份由生物量和系统进水中惰性的挥发性物质组成。有机物（主要是那些组成生物体的有机物）是可分解的，若在它们稳定之前排放，就有可能危害环境。稳定一词是用以指明如下过程：它可控制固体的分解，使其达到人们能方便地把它送到环境处置而不致形成对环境的危害。这种稳定过程并不意味着完全破坏有机物。事实上，在固体被稳定时其中仍可能包含很大一部份有机物，但残余的有机物不会以很高的速率进一步

分解。固体的稳定可以在好气或在厌气过程中实现。

当磷酸盐和氮的去除是处理的一个目的，或者当要求达到比生物转化和固体分离可能去除的有机物更高的去除率时，出水精处理应作为最后一个处理步骤。

表 1.1.2 列出了建议用于去除 BOD₅、氨和磷的生物法处理系统。这些系统示于图1.1.3~1.1.7。每个系统都包括了曾在图 1.1.1 中表示的除出水精处理以外的所有处理过程。建议以土壤处置用于出水精处理。除了在图 1.1.1 中描述的处理过程以外，每个系统都包括用粗筛网对废水预处理以及出水的氯消毒。虽然对于某一特定的应用来说，出水的目标是选择处理系统类型的最重要的因素，但其它因素也是重要的。表 1.1.3 从可靠性要求和费用方面对处理系统作了比较。

表1.1.2 建议用于去除 BOD₅、脱氨和除磷的生物系统^[a]

进 水 BOD ₅ , 毫克/升	平均出水 BOD ₅ 毫克/升	仅去除BOD ₅ 的 处理方法[b]	去除 BOD ₅ 加 脱氨 的 处 理 方 法[b]	去除BOD ₅ 加脱氨 加 除 磷 的 处 理 方 法[b]
> 300	30	AS	AS	AS + LD
	20	AS	AS	AS + LD
	10	TF + AS	TF + AS	AS + LD
< 300	30	AL, TF	AL + SF	FL + LD
			FL + SF	
	20	AL + SF	AL + SF	FL + LD
		FL + SF	FL + SF	
	10	AL + SF	AL + SF	FL + LD
		FL + SA	FL + SF	

- [a] 当进水中可沉降的 BOD_5 超过 100 毫克/升或当处理系统中包括生物滤池时，生物处理之前最好设初步沉淀。
- [b] AS——活性污泥法 (activated sludge);
 TF——生物滤池 (trickling filter);
 LD——土壤处置 (land disposal);
 AL——曝气氧化塘 (aerated lagoon);
 FL——兼性氧化塘 (facultative lagoon);
 SF——间歇砂滤池 (intermitent sand filter)。

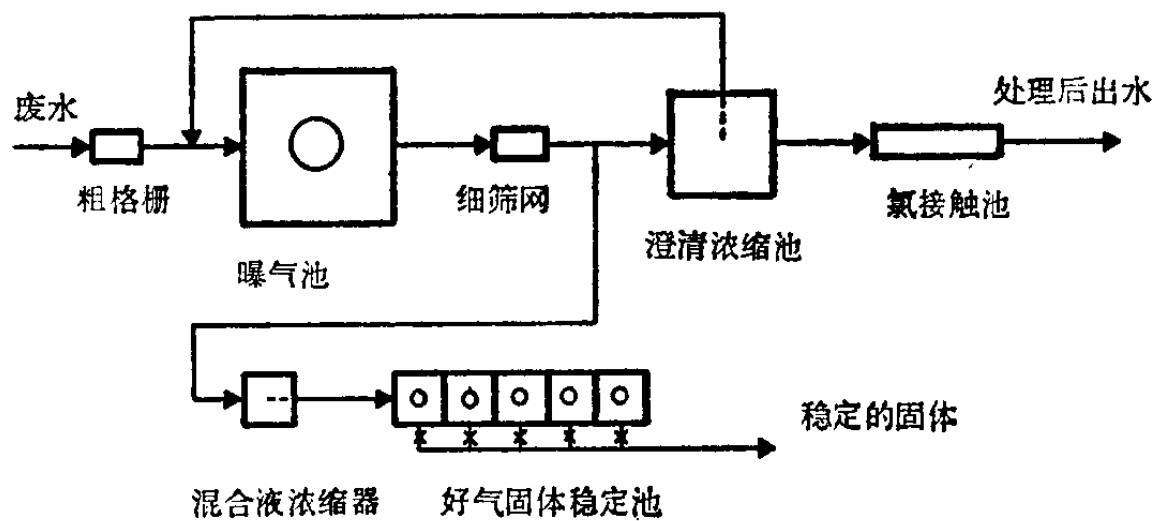


图1.1.3 活性污泥处理系统的流程

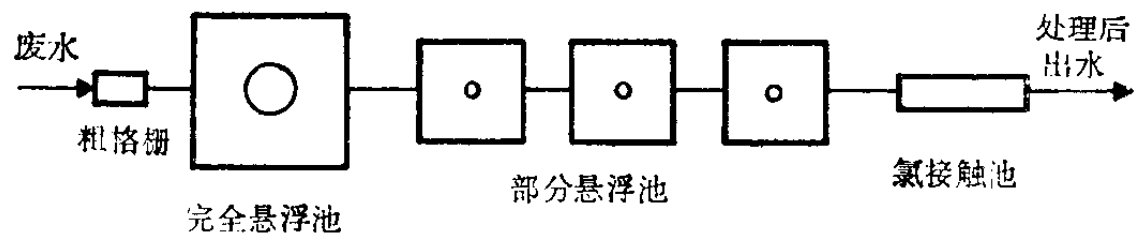


图1.1.4 两种比功率的曝气氧化塘系统的流程

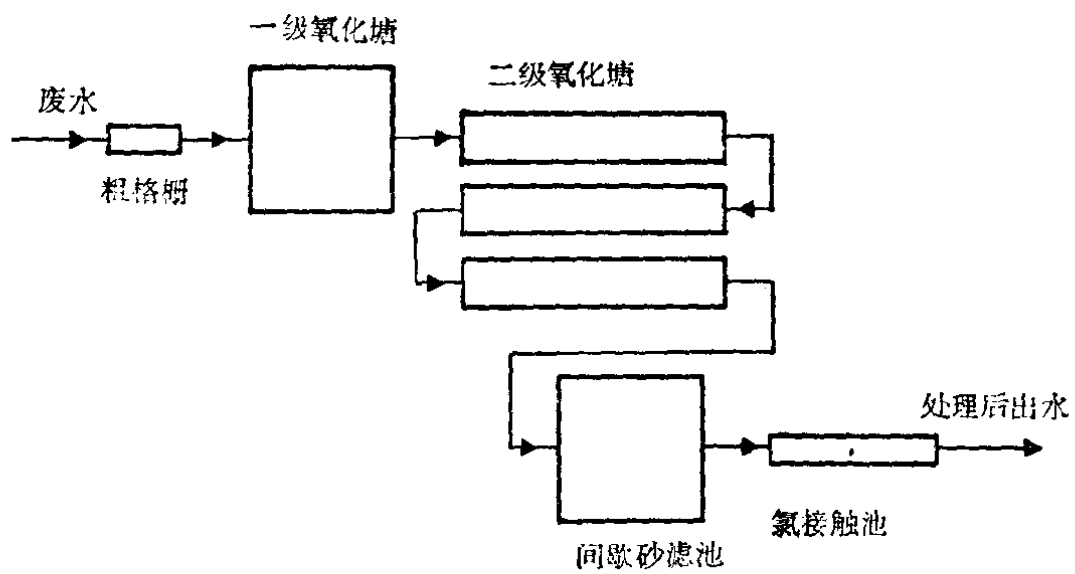


图1.1.5 兼性氧化塘系统的流程

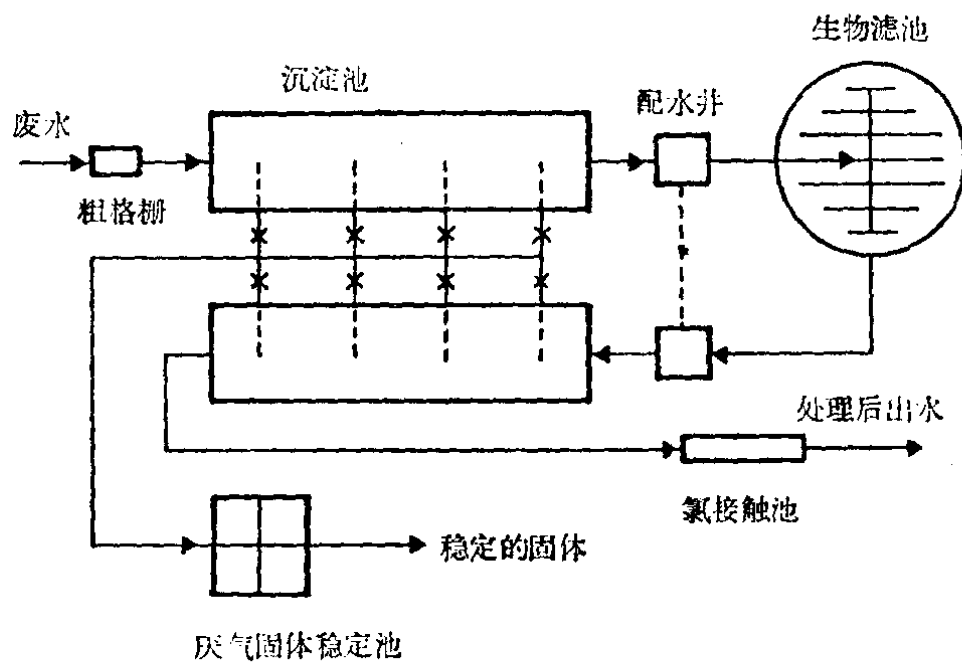


图1.1.6 生物滤池处理系统的流程

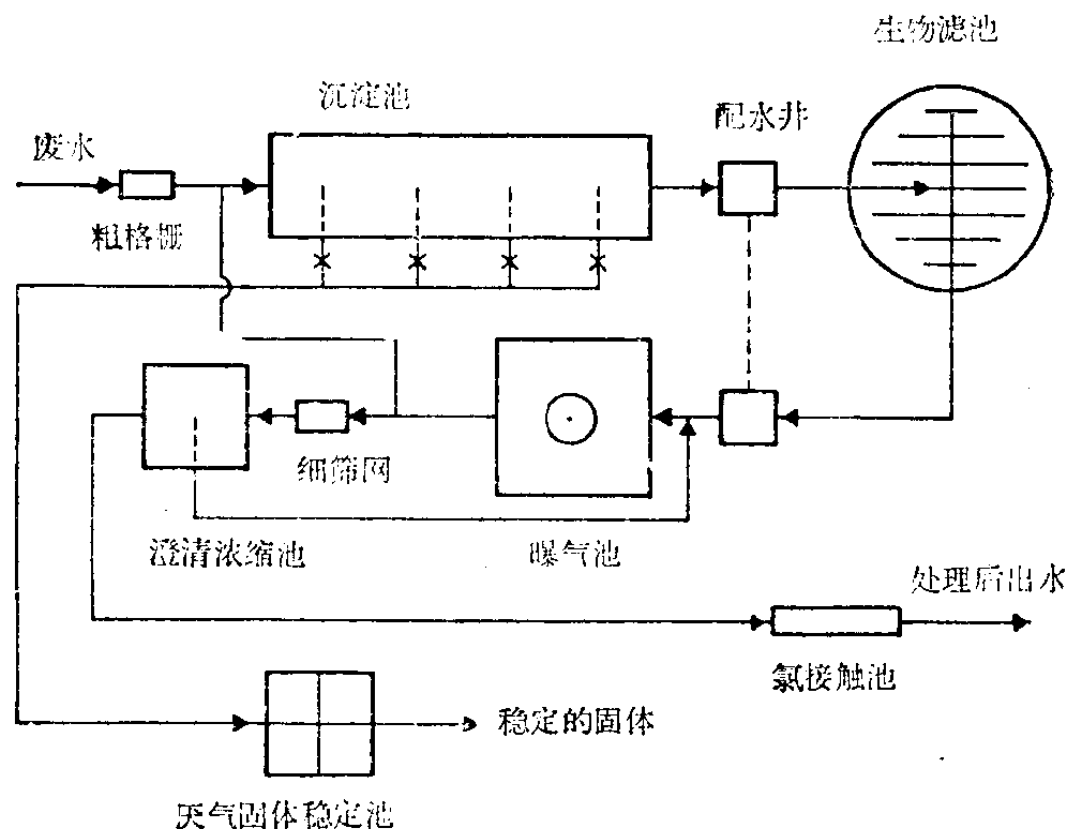


图1.1.7 生物滤池活性污泥处理系统的流程

为了合理地设计处理系统，要求十分注意待处理废水的特性。如果有可能，要对待处理废水的特性进行测定。如不可能进行直接测定，则必须参考其它地方收集的有关废水的资料。表1.1.4列出了在典型的生活废水中比较重要的污染物的平均浓度。

表 1.1.3 影响生物处理法选择的因素

一、可靠性要求

1. 抵抗有机物和毒物冲击负荷的能力

兼性和曝气氧化塘系统——最强

生物滤池——中等

活性污泥法——最弱

2. 对间断操作的敏感性

兼性和曝气氧化塘系统——最小

生物滤池——中等

活性污泥法——最大

3. 对操作人员技能的要求

兼性和氧化塘系统——最低

生物滤池——中等

活性污泥法——最高

二、费用

1. 占地

兼性和曝气氧化塘系统——最大

生物滤池——中等

活性污泥法——中等

2. 基建费

兼性和曝气氧化塘系统——最小

生物滤池——中等

活性污泥法——最大

3. 运行和维修费

兼性和曝气氧化塘系统——最小

生物滤池——中等

活性污泥法——最大

每个人口的生活污水量随总人口数而变化。对于小型废水处理系统，每人平均日污水流量与服务人口数之间有下列关系

$$\frac{Q}{P} = 3.8 \times 10^{-3} \left(50 + \frac{P}{200} \right) \quad \text{对于 } P \leq 10,000 \quad (1.1.1)$$

式中 Q = 平均日污水流量，米³/日

P = 服务人口数

当人口总数大于 10000 时，通常假设每人污水流量为 0.38 米³/日。

生活污水流量和其污染物浓度在24小时周期内的变化很大。而且，当提供废水的人口总数减少时，上述变化的程度将增加。对于一个服务于一定人口总数的废水处理系统，最大流量与平均流量的比值可按式估算*

$$\frac{Q_{\max}}{Q_{\text{av}}} = 15.85 P^{-0.187} \tag{1.1.2}$$

对于小型系统，最小日流量一般约为平均流量的25%。

从不同公共机构和商业区排放的日流量率和 BOD₅ 的典型值列于表 1.1.5。

表 1.1.4 典型的生活污水的特性

参 数	浓 度， 毫克/升
BOD ₅	200
COD	400
总悬浮固体	200
挥发性悬浮固体	150
可生物降解的挥发性悬浮固体	90
铵 氮	30
正磷酸盐磷	10

* H. M. Gifft, "Estimating Variations in Domestic sewage Flows," Water works and Sewerage, May, 1945.